云　南　植　物　研　究　2007，29 (5)：569～574
Acta Botanica Yunnanica

茂兰喀斯特森林林隙幼苗出现的时空格局*

龙翠玲[1]，余世孝[2]
(1 贵州师范大学地理与生物科学学院，贵州 贵阳　550001；2 中山大学生命科学学院，广东 广州　510275)

摘要：通过4次对茂兰自然保护区喀斯特森林林隙内种子的天然萌发情况进行观测，分析了林隙内幼苗的萌发数量、存活率及幼苗出现的时空分布格局。结果发现：林隙中大多数萌发的幼苗存活率均较高，平均存活率达50%以上，林隙的形成，不但提高了喀斯特森林树种的萌发率，也提高了幼苗的存活率。林隙中心、近中心、林隙边缘各区域幼苗的密度存在显著的空间差异，山拐枣（*Poliothyrsis sinensis*)、多脉榆（*Ulmus castaneifolia*）等树种在林隙中心幼苗密度最大，圆果化香（*Platycarya longipes*)、翅荚香槐（*Cladrastis platycarpa*)、圆叶乌桕（*Sapium rotundifolium*)、掌叶木（*Handeliodendron bodinieri*)、黄连木（*Pistacia chinensis*）和云贵鹅耳枥（*Carpinus pubescens*）等树种在林隙近中心幼苗密度最大，而樟叶槭（*Acer cinnamomifolium*)、球核荚蒾（*Viburnum propinquum*)、小叶青冈（*Cyclobalanopsis myrsinaefolia*)、轮叶木姜子（*Litsea verticillata*）等则在林隙边缘光照较弱的地方生长良好。幼苗出现的时间分布特征明显，整个观察期幼苗都持续萌发，但大多数树种幼苗出现在第2观测期 (3月)，幼苗出现数目从第2次到后面的几次观察期显著下降。林隙3个区域幼苗出现不是同步的，林隙中心的幼苗出现最快，与其它两个部位相比，林隙边缘的幼苗出现有滞后现象。研究结果表明林隙中心的环境条件有利于种子萌发，但林隙近中心却更利于幼苗存活。

关键词：喀斯特森林；林隙；幼苗密度；时空萌发格局；茂兰
中图分类号：Q 948　　　　**文献标识码**：A　　　　**文章编号**：0253-2700 (2007) 05-569-06

The Temporal and Spatial Patterns of Seedling Emergence in Gaps of Karst Forest in Maolan Nature Reserve, Guizhou Province*

LONG Cui-Ling[1]，YU Shi-Xiao[2]
(1 *School of Geography and Life Science*, *Guizhou Normal University*, Guiyang 550001, China;
2 *School of Life Sciences*, *Sun Yat-Sen University*, Guangzhou 510275, China)

Abstract: Seed natural germination in gaps of karst forest in Maolan Nature reserve, Guizhou Province were observed in 4 observation times. Germination number and survival rate of seedlings in gaps, differences in temporal and spatial patterns of seedling emergence were investigated. The results showed that survival rate of seedlings of most species in gaps was high and average survival rate was above 50%. It increased not only the germination rate of tree seeds but also the survival rate of seedlings because of gap formation in karst forest. Seedling density has spatial heterogeneity in different area of gap center, near gap center and gap border. Seedling density of *Poliothyrsis sinensis* and *Ulmus castaneifolia* were great in gap center, seedling density of *Platycarya longipes*, *Cladrastis platycarpa*, *Sapium rotundifolium*, *Handeliodendron bodinieri*, *Pistacia chinensis* and *Carpinus pubescens* were great near gap center and seedling density of *Acer cinnamomifolium*, *Viburnum propinquum*, *Cyclobalanopsis myrsinaefolia* and *Litsea verticillata* were great in gap border where light was slight. Most

* 基金项目：贵州省教育厅自然科学基金 (黔教科2001028)、贵州省科学技术基金 (黔科合J字 [2007] 2049)、贵州师范大学博士基金资助
收稿日期：2006-12-03，2007-02-28接受发表
作者简介：龙翠玲 (1973-) 女，侗族，贵州锦屏人，博士，副教授，主要研究方向为植被生态学及生物多样性保护。
E-mail：longcuiling898@163.com；Tel：13595078295

of seedlings emerged during the second census. Although germination occurred over the entire observing stage, the total number of seedlings decreased distinctively with the second time. Seedling germination differed temporally among three gap areas. Seedling germination was the most quick in gap center, but in gap border seedlings lagged behind the others. The results showed that it was favorable for seed germination in gap center, but was favorable for seedlings survival near gap center.

Key words: Karst forest; Gap; Seedling density; Temporal and spatial patterns of seedling distribution; Maolan

林隙（gap）广泛分布于森林，是森林更新的起点（White，1979，夏冰等，1997）。林隙的形成，改善了林内光照条件，形成了不同于郁闭林分的异质性生境，对林木种子萌发、苗木定居、幼树生长等自然更新过程有重要影响（昝启杰等，1997）。在林隙更新过程中，除前期更新幼苗幼树的生长以及受损树木的重新萌发生长外，原土壤库中种子和新传播进入林隙种子的萌发，是林隙填充的又一重要途径（Jones 等，1994）。林隙中的种子萌发成为幼苗后，常形成幼苗库，作为缓冲机制，幼苗库在幼苗补充为幼树或大树的过程中具有重要的“保险”作用（陶建平和臧润国，2004）。林隙内种子库和幼苗库是森林植物种群动态和森林更新的重要环节，是森林生物多样性维持机制的一个重要方面。林隙更新动态的研究已较为充分（李旭光等，1997；吴刚，1998；Kneeshaw and Bergeron，1998；臧润国等，1999；谢宗强，1999；刘庆和吴彦，2002；朱小龙和李振基，2002；罗大庆等，2002，何永涛等，2003），但有关林隙种子库及幼苗库动态的研究较少（Denslow and Diaz，1990；Chandrashelara and Ramakrishnan，1993；龙翠玲，2007）。喀斯特森林生态环境特殊，蕴藏着丰富的生物多样性，群落结构动态及维持机制的研究是喀斯特森林生态研究的重要内容之一。有关喀斯特森林的植被类型、群落学特点、更新等方面有了一些研究工作（朱守谦和魏鲁明，1993；刘济明，2000；龙翠玲等，2005；龙翠玲和余世孝，2007），但喀斯特森林林隙土壤种子库天然萌发特征和幼苗库动态规律等内容少见报道，对其群落结构动态及维持机制知之甚少。因此，本文研究了茂兰喀斯特森林林隙幼苗出现的时空格局特征，以揭示喀斯特森林群落更新潜力及物种多样性维持机制，为喀斯特森林的经营管理提供科学依据。

1　研究地区概况

研究地位于贵州省南部黔、桂交界处的茂兰国家级喀斯特森林自然保护区（25°09′～25°20′N，107°52′～108°05′E）。区内为典型的喀斯特峰丛地貌，海拔最高 1 078.6 m，最低 430 m，平均海拔 800 m 以上。成土母岩以中下石炭纪白云岩及石灰岩为主。年均温 15.3℃，7 月均温 26.4℃，1 月均温 8.3℃，≥10℃积温 5 727.9℃，年均降雨量 1 320.5 mm。全年平均相对湿度 83%。土壤以黑色石灰土为主，土层浅薄，地面岩石裸露，pH7.5～8.0，有机质和全氮含量特别丰富。

具体调查区域在保护区核心区顶极常绿落叶阔叶林内进行，主要植被以耐旱、喜钙类型为主。林分郁闭度 0.95，平均树高 20 m，平均胸径约 25 cm，优势乔木高达 30.5 m，胸径达 45 cm。群落乔木层树种主要有圆果化香（*Platycarya longipes*）、翅荚香槐（*Cladrastis platycarpa*）、青冈（*Quercus glarca*）、椤木石楠（*Photinia davidsoniae*）、掌叶木（*Handeliodendron bodinieri*）等。灌木层主要有湖北十大功劳（*Mahonia confusa*）、球核荚蒾（*Viburnum propinquum*）、贵州悬竹（*Ampelocalamus calcareus*）等。草本地被层有庐山楼梯草（*Elatostema stewardii*）、翠云草（*Selaginella uncinata*）、柳叶蕨（*Cyrtogonellum fraxinellum*）等植物。

2　研究方法

在相同的地形部位选择 4 个年龄为 5 年，扩展林隙面积在 100 m^2 左右的林隙，在每个林隙东、南、西、北 4 个方向的林隙中心区（主要为林冠空隙）、近中心区（林冠空隙与扩展林隙过渡区）、边缘区（扩展林隙与非林隙过渡区）共 9 个点（图 1）分别设面积为 1 m×1 m 的小样方，观察林隙不同区域种子的天然萌发情况。样地观察从 2004 年 1 月～2004 年 7 月，分 4 次观测了 36 个样方内出现的幼苗数，即 2004 年 1 月 5 日，2004 年 3 月 2 日，2004 年 5 月 4 日和 2004 年 7 月 5 日，每次观测均记录幼苗的种类和数量，然后对新出现的幼苗作标记。应用方差分析方法分析了林隙各区域的幼苗密度差异。

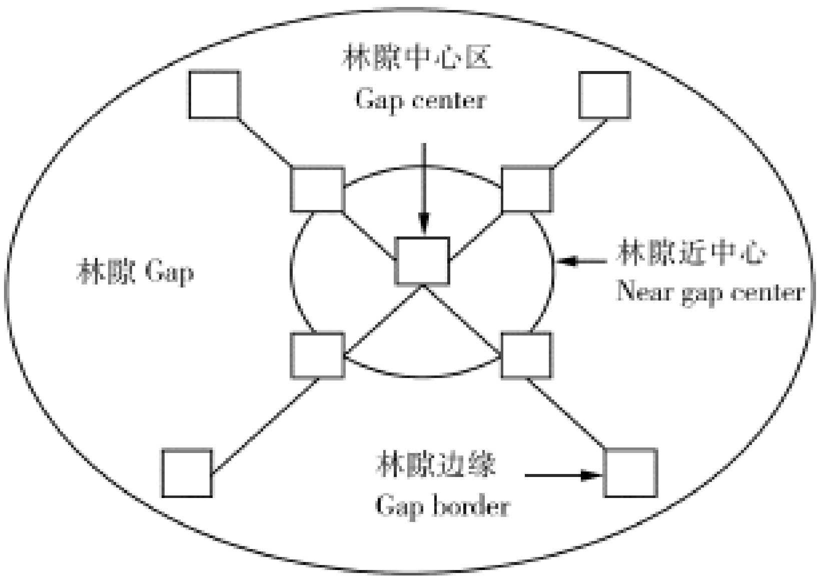

图 1　喀斯特森林林隙种子天然萌发实验示意图

Fig.1　Natural germination experiment of the seed in the seed bank of karst forest

3　结果与分析

3.1　林隙幼苗的萌发及存活情况分析

林隙内的微生境差异对各类植物种子的适宜程度不完全一样，因而林隙内各类种子萌发和幼苗存活状况也会存在差异。对林隙中 36 个样方幼苗的萌发观察结果见表 1。由表 1 可知，除樟叶槭（*Acer cinnamomifolium*）、小叶青冈（*Cyclobalanopsis myrsinaefolia*）等少数树种的幼苗存活率较低外，林隙中大多数萌发的幼苗存活率均较高，平均存活率达 50% 以上。樟叶槭和小叶青冈的幼苗存活率低的原因可能是这些树种的幼苗需在荫闭的环境下生长，其幼苗大多在郁闭林下形成的缘故。由此可知，林隙的形成，不但提高了树种的萌发率，也提高了幼苗的存活率，使森林中的树种得以持续稳定的存在。

3.2　林隙幼苗的空间分布格局

林隙中心、近中心、林隙边缘各区域幼苗的密度存在显著差异（$P<0.05$）。36 个样方总共存活幼苗 1041 株，平均密度为 28.9±10.1 株/m²。如表 2 所示，林隙近中心具有最高的幼苗密度，为 36.5±11.6 株/m²，其次为林隙中心，为 30.1±9.2 株/m²，最少为林隙边缘，为 20.7±6.7 株/m²，表明由于林隙不同区域环境条件的差异，各区域存活的幼苗密度差别较大。山拐枣（*Poliothyrsis sinensis*）、多脉榆等树种在郁闭林下更新不良，在林隙中心幼苗密度最大，圆果化香、翅荚香槐、圆叶乌桕（*Sapium rotundifolium*）、掌叶木、黄连木（*Pistacia chinensis*）和云贵鹅耳枥（*Carpinus pubescens*）等树种在林隙近中心幼苗密度最大，因这些树种均为典型的林隙更新树种（龙翠玲等，2005），这些树种的幼苗生长需要较强的光照条件，因此这些树种的幼苗集中分布在光照条件较为优越的林隙中心和近中心区域。而樟叶槭、球核荚蒾、小叶青冈、轮叶木姜子（*Litsea verticillata*）等则在林隙边缘光照较弱的地方生长良好。

表 1　林隙中幼苗的种类及存活率

Table 1　Species and rate of survival of seedling in gaps

物种 Species	萌发出苗数 No. of germination	存活数 No. of survival	存活率 Rate of survival (%)
圆果化香 *Platycarya longipes*	185	142	76.8
翅荚香槐 *Cladrastis platycarpa*	128	86	67.2
樟叶槭 *Acer cinnamomifolium*	101	24	23.8
多脉榆 *Ulmus castaneifolia*	228	164	71.9
圆叶乌桕 *Sapium rotundifolium*	181	144	79.6
裂果卫矛 *Euonymus dielsianus*	94	35	37.2
球核荚蒾 *Viburnum propinquum*	158	96	60.9
掌叶木 *Handeliodendron bodinieri*	142	94	66.0
粗丝木 *Gomphandra tetrandra*	60	17	28.3
山拐枣 *Poliothyrsis sinensis*	50	34	68.0
黄连木 *Pistacia chinensis*	90	68	75.6
小叶青冈 *Cyclobalanopsis myrsinaefolia*	89	16	18.0
云贵鹅耳枥 *Carpinus pubescens*	153	78	51.0
蚊母树 *Distylium racemosum*	48	15	31.3
轮叶木姜子 *Litsea verticillata*	59	28	47.5
合计 Total	1766	1041	58.9

表 2　林隙不同区域的幼苗密度（株/m²）

Table 2　Density of seedlings in different area of gap (ind./m²)

物种 Species	林隙中心 Gap center	林隙近中心 Near gap center	林隙边缘 Gap border
圆果化香 *Platycarya longipes*	3.8	5.6	2.3
翅荚香槐 *Cladrastis platycarpa*	2.1	4.2	0.6
樟叶槭 *Acer cinnamomifolium*	0	0.4	1.1
多脉榆 *Ulmus castaneifolia*	12.3	5.1	2.1
圆叶乌桕 *Sapium rotundifolium*	3.5	5.8	2.3
裂果卫矛 *Euonymus dielsianus*	0	0.9	1.3
球核荚蒾 *Viburnum propinquum*	0	1.4	4.6
掌叶木 *Handeliodendron bodinieri*	1.8	3.8	1.6
粗丝木 *Gomphandra tetrandra*	0.5	0.9	0
山拐枣 *Poliothyrsis sinensis*	2.8	1.4	0
黄连木 *Pistacia chinensis*	0.8	2.4	1.6
小叶青冈 *Cyclobalanopsis myrsinaefolia*	0	0	1.0
云贵鹅耳枥 *Carpinus pubescens*	2.5	3.1	1.1
蚊母树 *Distylium racemosum*	0	0.9	0
轮叶木姜子 *Litsea verticillata*	0	0.6	1.1
合计 Total	30.1	36.5	20.7

3.3 林隙不同树种幼苗的时间分布格局

由图2可知，几种林隙树种四次观测期的幼苗密度依次为：圆果化香 2.3、4.7、1.6 和 0.8 株/m^2；翅荚香槐 1.9、3.3、0.9 和 0.9 株/m^2；多脉榆 2.2、3.1、1.2 和 0 株/m^2；圆叶乌桕 1.1、2.6、1.0 和 0 株/m^2；裂果卫矛（*Euonymus dielsianus*）2.1、4.1、0.9 和 0.4 株/m^2；掌叶木 1.6、3.7、2.7 和 1.3 株/m^2；山拐枣 0.8、1.3、2.0 和 0 株/m^2；黄连木 1.0、0.7、0.6 和 0 株/m^2；云贵鹅耳枥 2.8、3.9、1.6 和 0.6 株/m^2。由此可知，整个观察期幼苗都持续萌发，但大多数树种幼苗出现在第二观测期（3 月），幼苗出现数目从第二次到后面的几次观察期显著下降，多脉榆、圆叶乌桕、山拐枣、黄连木等树种在第四次观测期（7 月）基本无幼苗出现，体现了不同树种幼苗萌发的时间异质性。

3.4 林隙不同区域幼苗的时间分布格局

由图2和表3可知，林隙各区域幼苗出现的时间格局也存在差异。林隙中心和近中心幼苗出现数量均为第2次观察期最多，分别占整个观测期林隙相应部位幼苗出现数量的 73.4% 和 53.1%，其次为第1次观察期，分别占 22.1% 和 35.2%，第 4 次观察期最少，分别占 0.3% 和 1.6%。林隙边缘也是第2次观察期幼苗数量最多，占林隙边缘幼苗数量的 45.6%，其次为第3次观察期，占 38.3%，第4次观察期最少，占 2.6%。可见，林隙三个不同区域均表现为第2次观察期幼苗出现数量最多，第4次观察期最少。在林隙中心第2次观察的幼苗数量超过该区整个观察期幼苗出现数目的三分之二；在林隙近中心，超过一半；而在林隙边缘不足一半。表明林隙各部位幼苗出现不是同步的，林隙中心的幼苗出现最快，与其它两个部位相比，林隙边缘的幼苗出现有滞后现象。林隙不同区域幼苗密度分

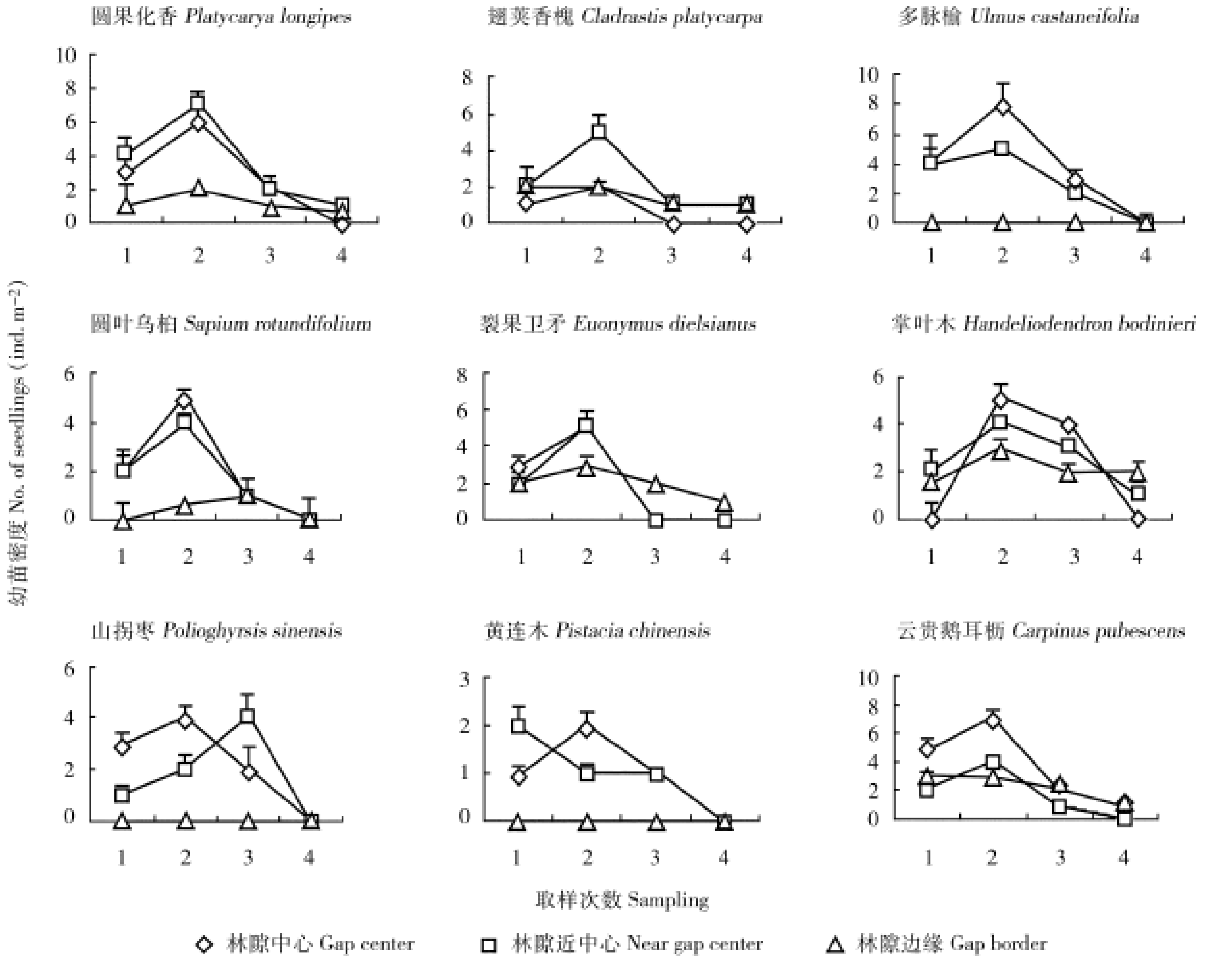

图2 3个林隙部位不同树种4次观测的幼苗数量变化

Fig.2 Seedling number change trend of different trees in 4 observation times in 3 gap areas

表 3　不同林隙部位每个幼苗观测期幼苗所占百分率

Table 3　Percentage of seedlings occurred in every observation period in different gap areas (%)

林隙部位 Gap area	第 1 次幼苗观测 The first seedlings observation	第 2 次幼苗观测 The second seedlings observation	第 3 次幼苗观测 The third seedlings observation	第 4 次幼苗观测 The fourth seedlings observation
林隙中心 Gap center	22.1	73.4	4.2	0.3
林隙近中心 Near gap center	35.2	53.1	10.1	1.6
林隙边缘 Gap border	13.5	45.6	38.3	2.6
总林隙 Total gap	32.3	55.4	10.9	1.4

析结果也表明，林隙近中心的幼苗密度最大（表 2），旁证了林隙中心的环境条件有利于种子萌发，但林隙近中心却更利于幼苗存活。

4　结论与讨论

茂兰喀斯特森林林隙种子天然萌发结果表明：除樟叶槭、小叶青冈等少数树种的幼苗存活率较低外，林隙中大多数萌发的幼苗存活率均较高，平均存活率达 50%以上。刘济明（2000）对茂兰喀斯特森林主要树种在郁闭林下的天然萌发观测结果也表明：圆果化香、掌叶木和黄连木等树种在郁闭林下不能萌发，而多数树种在郁闭林下萌发后，当年存活率也很低，平均存活率仅 22.5%，但从林窗中的萌发情况来看，这些树种的幼苗存活率均在 60%以上。由此可知，林隙的形成，不但提高了树种的萌发率，也提高了幼苗的存活率。喀斯特森林中林隙的出现，为不同树种提供了异质性的环境资源，这种异质环境有利于森林树种幼苗的定居和个体密度的增加。有研究表明：林隙个体密度的增加导致了林隙物种多样性的增加，但这种多样性的增加会随着个体快速稀疏而很快消失，阳性树种的幼苗在林隙中大量发生后个体数量会很快下降，而耐荫树种幼苗的发生速度和消亡速度都要缓慢得多（Denslow，1995）。这种现象可能因为树种的生态学特性的差异而使其在林隙中幼苗的存活率有所不同，使具不同耐荫性树种的幼苗密度变化在林隙不同区域中表现出不同的形式，如樟叶槭、球核荚蒾、小叶青冈、轮叶木姜子等耐荫树种在林隙边缘密度较大，而圆果化香、翅荚香槐、圆叶乌桕、掌叶木、黄连木和云贵鹅耳枥等喜阳树种在林隙近中心幼苗密度最大。此外，生态学特性的差异也决定了不同树种萌发时间格局的差异。因此，不同生物学生态学特性的物种对不同时空尺度林隙环境资源的利用，是茂兰喀斯特森林物种多样性维持的内在机制。

研究结果还表明林隙中心的环境条件有利于种子萌发，而林隙近中心却更利于幼苗存活。林隙各部位幼苗出现不是同步的，林隙中心的幼苗出现最快，与其它两个部位相比，林隙边缘的幼苗出现有滞后现象。由此可知，林隙中幼苗的分布具有显著的时空异质性特征，由非林隙、林隙边缘、林隙近中心到林隙中心的微观空间异质性梯度上，不同耐荫性的物种占据不同的生境区域，体现了物种对林隙环境的分割特征。林隙中不同树种幼苗的分布格局与其幼苗耐荫性密切相关，由于从林隙中央到非林隙林地的光照、热量、水分等环境因子存在着显著而迅速的梯度变化，森林内构成了丰富的生态分异，为不同耐荫性树种提供了更新生态位，满足不同树种更新的需求（齐代华等，2001），因此不同耐荫性的树种就占据林隙中最适合的环境资源。当林隙形成后，林隙内的环境条件发生了不同程度的变化，这种变化不仅体现在林隙与非林隙环境条件的变化上，在林隙内不同区域环境的异质性上也体现得特别明显，不同物种对此做出了不同的更新反应，从而形成了不同树种幼苗出现的时空格局的差异。总之，林隙中树木的更新不但取决于林隙环境是否有利于种子萌发，还取决于种子特性或幼苗耐荫性等树种的生物学特性，林隙更新过程是各种生物与非生物因素相互作用的结果。因此，研究林隙微生境对幼苗分布的时空格局的影响也有助于理解群落的物种组成多样性和异质性结构的形成原因，对于森林物种多样性保护具有重要意义。

本文只统计林隙中土壤种子库的天然萌发而形成的幼苗，即实生个体。实际上，茂兰喀斯特森林林隙幼苗库的来源主要有两个途径：其一为土壤种子库中的种子受刺激或打破休眠而进入活

动种子库（另文报道），萌发成幼苗；其二为喀斯特森林中有不少植物具有萌蘖性质，可以从其母体上产生无性系分株，形成幼苗。喀斯特森林生境条件十分严酷，对种子繁殖的幼苗是极为不利的，即使林隙中幼苗当年存活率较高，但在环境恶劣的局部地段，幼苗死亡率仍较高。因此，较大的环境压力必然对植物种群的繁殖方式产生影响。无性繁殖是喀斯特森林演替早期阶段植被恢复的重要途径（喻理飞等，2002），也是林隙更新的重要方式，如林隙中黄梨木（*Boniodendron minus*）、青冈（*Quercus glauca*）等尚未开花结实，它们在林隙中以萌芽来产生幼苗，从而扩大种群对林隙环境的占有率。在林隙形成初期通过无性繁殖形成的幼苗，可以避免种子萌发时因环境不适而导致高的死亡率。因此，林隙实生幼苗和无性系分株随林隙年龄的变化规律还有待于进一步研究。

致谢　野外调查中得到茂兰保护区管理局的大力支持；地理与生物科学学院2000级毕业生韦峥嵘、刘欣、高兰和龙明鼎等参加野外调查。

〔参　考　文　献〕

朱守谦，魏鲁明，1993．茂兰喀斯特森林的群落学特点［A］．喀斯特森林生态研究（Ⅰ）［C］．贵阳：贵州科技出版社，1—11

Chandrashelara UM, Ramakrishnan PS, 1993．Germinable soil seed bank dynamics during the gap phase of a humid tropical forest in the Western Ghats of Kerala, India［J］．*J Trop Ecol*, **9**: 455—467

Denslow JS, Diaz AE, 1990．Seed rain to tree-fall gaps in a neotropical rain forest［J］．*Canad J Forest Res*, **20**（5）: 642—648

Denslow JS, 1995．Disturbance and diversity in tropical rain forests: the density effect［J］．*Ecol Applicat*, **5**: 962—968

He YT（何永涛）, Li GC（李贵才）, Cao M（曹敏）*et al*．2003．Regeneration in gaps of the middle-mountain moist evergreen broad-leaved forest of Ailao Mountains［J］．*Chin J Appl Ecol*（应用生态学报）, **14**（9）: 1399—1404

Jones RH, Sharitz RR, Dixon PM *et al*．1994．Woods plant regeneration in four floodplain forests［J］．*Ecol Monogr*, **64**（3）: 345—367

Kneeshaw DD, Bergeron Y, 1998．Canopy gap characteristics and tree replacement in the southeastern boreal forest［J］．*Ecology*, **79**: 783—794

Liu Q（刘庆）, Wu Y（吴彦）, 2002．Effects of gap size on regeneration of subalpine coniferous forests in northwest Yunnan［J］．*Chin J Appl Environm Biol*（应用与环境生物学报）, **8**（5）: 453—459

Liu JM（刘济明）, 2000．The reproductive and regenerative counter measures of the main woody species in Maolan karst forest［J］．*Scient Silvae Sin*（林业科学）, **36**（5）: 114—122

Li XG（李旭光）, He WM（何维明）, Dong M（董鸣）, 1997．A preliminary study on gap dynamics of *Gordonia acuminata* population in Jinyun Mountain［J］．*Acta Ecol Sin*（生态学报）, **17**（5）: 543—548

Long CL（龙翠玲）, Yu SX（余世孝）, Xiong ZB（熊志斌）*et al*．2005．Species diversity and regeneration in forest gaps of the Karst forest in Maolan National Nature Reserve, Guizhou Province［J］．*Biodivers Sci*（生物多样性）, **13**（1）: 43—50

Long CL（龙翠玲）, 2007．Species composition and life form feature of vegetation restoration in gaps of Karst forest in Maolan Nature Reserve, Guizhou province［J］．*Acta Bot Yunnan*（云南植物研究）, **29**（2）: 201—206

Long CL（龙翠玲）, YU SX（余世孝）, 2007．Space variation of seed rain and seed bank in gaps of Karst forest in Maolan Nature Reserve, Guizhou province［J］．*Acta Bot Yunnan*（云南植物研究）, **29**（3）: 327—332

Luo DQ（罗大庆）, Guo QS（郭泉水）, Xue HY（薛会英）*et al*．2002．A research of gap regeneration of virgin fir forest in Mount Sejila in Tibet［J］．*Forest Res*（林业科学研究）, **15**（5）: 564—569

Qi DH（齐代华）, Li XG（李旭光）, Wang ZP（王周平）*et al*．2001．Preliminary research on species diversity change of the regeneration layer in gap gradient in a coniferous-broadleafed forest in Jinyun Mountain［J］．*Biodivers Sci*（生物多样性）, **9**（1）: 51—55

Tao JP（陶建平）, Zang RG（臧润国）, 2004．Studies on the dynamics of seedling bank in gap of tropical montane rain forest in Bawangling, Hainan Island［J］．*Scient Silvae Sin*（林业科学）, **40**（3）: 33—38

White PS, 1979．Pattern, process, and natural disturbance in vegetation［J］．*Bot Rev*, **45**: 229—299

Wu G（吴刚）, 1998．Regeneration dynamics of tree species in gaps of Korean pine broad-leaved mixed forest in Changbai Mountains［J］．*Chin J Appl Ecol*（应用生态学报）, **9**（5）: 449—452

Xia B（夏冰）, Deng F（邓飞）, He SA（贺善安）, 1997．Advances on the forest gap studies［J］．*J Plant Res Environm*（植物资源与环境）, **6**（4）: 50—57

Xie ZQ（谢宗强）, 1999．Gap regeneration of *Cathaya argyrophylla* forests［J］．*Acta Ecol Sin*（生态学报）, **19**（6）: 775—779

Yu LF（喻理飞）, Zhu SQ（朱守谦）, Ye JZ（叶镜中）*et al*．2002．Dynamics of a degraded karst forest in the process of natural restoration［J］．*Scient Silvae Sin*（林业科学）, **38**（1）: 1—7

Zan QJ（昝启杰）, Li MG（李鸣光）, Zhang ZQ（张志权）*et al*．1997．Gaps and its roles in forest dynamics［J］．*Chin Bull Bot*（植物学通报）, **14**（增刊）: 18—24

Zang RG（臧润国）, Yu SX（余世孝）, Liu JY（刘静艳）*et al*．1999．The gap phase regeneration in a tropical mountain rain forest in a Bawangling, Hainan island［J］．*Acta Ecol Sin*（生态学报）, **19**（2）: 151—158

Zhu XL（朱小龙）, Li ZJ（李振基）, 2002．Study on the influence of gap on the regeneration of seedlings in southern subtropical rainforest in Hexi, Nanjing, China［J］．*J Xiamen Univ*（Nat Sci）（厦门大学学报（自然科学版））, **41**（5）: 589—595